

POTENSI MANGROVE SEBAGAI KARBON BIRU INDONESIA BAGI PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

Susi Sulistiana
(susi@ecampus.ut.ac.id)

PENGANTAR

Sebagai salah satu negara kepulauan paling besar di dunia, Indonesia mempunyai peran yang signifikan dalam aspek pengelolaan potensi kawasan pesisirnya sebagai upaya dalam menangani isu perubahan iklim dan pengelolaan mangrove berkelanjutan (Budiyayu, 2018). Berdasarkan *Conservation International* (CI) Indonesia tahun 2017, bahwa data tahun 2015 menunjukkan Indonesia memiliki 3,1 juta hektar wilayah mangrove. Angka ini setara dengan 22% ekosistem mangrove di seluruh dunia. Wilayah mangrove terluas ada di Provinsi Papua Barat dengan luas 482,029 hektar (Barakalla & Megawanto, 2017).

Mangrove merupakan sumber daya alam yang berperan penting dalam memelihara keseimbangan antara ekosistem darat dan perairan. Ekosistem mangrove merupakan wilayah yang berfungsi sebagai jembatan antara daratan dan lautan (Muhtadi & Sitohang, 2016). Menurut Anang dalam Barakalla & Megawanto (2017), mangrove merupakan ekosistem dengan berbagai fungsi serta jasa lingkungan, salah satunya dalam upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Ekosistem ini juga sebagai pendukung kehidupan yang perlu dijaga kelestariannya (Indrayanti, 2015). Indonesia dengan luasan mangrove terluas di dunia, berperan cukup tinggi dalam menekan pemanasan global, dan menahan karbon yang merupakan salah satu penyebab pemanasan tersebut.

Karbon biru merupakan salah satu *term* (batasan) yang digunakan dalam mendeskripsikan jasa lingkungan mangrove ini. Ekosistem lainnya yang juga dapat berkontribusi ke karbon biru, antara lain rawa pasang surut dan padang lamun. Ekosistem karbon biru pesisir merupakan salah satu ekosistem yang paling terancam di bumi, yaitu sekitar 340.000 hingga

980.000 hektar ekosistem ini dihancurkan setiap tahunnya. Diperkirakan sampai dengan 67% dan sedikitnya 35% dan 29 % dari seluruh cakupan global mangrove, rawa pasang surut, dan padang lamun, secara berurutan telah hilang. Jika hal ini berlanjut terus dengan laju yang tetap, maka 30-40% rawa pasang surut, padang lamun, dan hampir semua mangrove yang tidak dilindungi akan hilang dalam waktu kurun waktu 100 tahun ke depan. Saat terdegradasi atau hilang, maka ekosistem ini akan menjadi sumber emisi gas rumah kaca (GRK) karbon dioksida yang besar (Barakalla & Megawanto, 2017).

Karbon biru memberikan peluang baru untuk mendorong dan mendukung pelestarian (pemulihan dan perlindungan) ekosistem pesisir secara global untuk mempertahankan berbagai keuntungan yang diberikan oleh ekosistem ini (Barakalla & Megawanto, 2017). Selain itu pemanfaatan karbon biru, juga sebagai bentuk implementasi dari tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*, butir 14: *life below water* - kehidupan bawah laut, melestarikan dan menjaga keberlangsungan laut dan kehidupan sumber daya laut untuk perkembangan pembangunan yang berkelanjutan).

Tulisan ini berupa studi atau kajian literatur yang menjelaskan tentang potensi mangrove sebagai karbon biru Indonesia bagi pembangunan berkelanjutan termasuk di dalamnya menjelaskan mangrove dan fungsi ekosistemnya, pengelolaan mangrove, dan mangrove sebagai penyerap karbon biru yang didukung dengan hasil-hasil penelitian pengukuran karbon birunya.

PEMBAHASAN

Fungsi Ekosistem Mangrove

Mangrove tumbuh dan berkembang dengan baik pada pantai yang memiliki sungai yang besar dan terlindung. Tumbuhan mangrove memiliki kemampuan khusus untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang ekstrim, seperti kondisi tanah yang tergenang, kadar garam yang tinggi,

serta kondisi tanah yang kurang stabil. Dengan kondisi lingkungan seperti itu, beberapa jenis mangrove mengembangkan mekanisme yang memungkinkan secara aktif mengeluarkan garam dari jaringan, sementara yang lainnya mengembangkan sistem akar napas untuk membantu memperoleh oksigen bagi sistem perakarannya (Bengen, 2004). Hutan mangrove sering juga disebut sebagai hutan bakau atau hutan payau (*mangrove forest* atau *mangrove swamp forest*). Menurut Andrianto (2014) hutan mangrove merupakan kelompok tumbuhan berkayu yang tumbuh di sekeliling garis pantai dan memiliki adaptasi yang tinggi terhadap salinitas payau. Keberadaan hutan mangrove dalam ekosistem pantai merupakan suatu ekosistem alam, memiliki fungsi ekologis, dan sosial ekonomi yang memiliki berbagai manfaat (Farimansyah, 2005).

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang subur, karena degradasi serasah mangrove memasok unsur hara bagi lingkungannya. Unsur hara kemudian dimanfaatkan oleh plankton dalam fotosintesis, sehingga perairan mempunyai produktivitas yang tinggi. Ketersediaan plankton dan benthos di perairan tersebut merupakan makanan bagi ikan. Dengan kondisi tersebut, ikan memanfaatkan ekosistem perairan mangrove sebagai daerah mencari makan, memijah, dan pembesaran. Jadi mangrove mempunyai nilai ekologis yang tinggi untuk menunjang keberlangsungan ekosistem akuatik (Indrayanti, 2015). Ekosistem mangrove mendukung konservasi keanekaragaman hayati, dengan menyediakan tempat tinggal, tempat berkembang biak, tempat pengasuhan anak dan tempat mencari makan berbagai jenis hewan, termasuk beberapa golongan hewan yang terancam kepunahan, mulai dari golongan reptil, amphibi, aves, dan mamalia. Ekosistem mangrove dapat juga melindungi ekosistem terumbu karang (*coral reefs*), dan padang lamun (*sea grass*) (FAO, 2007).

Fungsi lain dari mangrove sebagaimana dikemukakan oleh Hoy (2018), diantaranya adalah kemampuan mangrove dalam menyimpan karbon lebih besar dibandingkan karbon hutan, sehingga mangrove sangat berperan dalam mitigasi perubahan iklim. Selain itu kandungan nutrisi yang baik pada mangrove sangat bermanfaat bagi spesies ikan untuk melakukan pemijahan. Berkaitan dengan konservasi keanekaragaman hayati, ekosistem mangrove

dapat mempertahankan habitat pesisir yang kaya akan keanekaragaman hayati.

Jenis-Jenis Tumbuhan Mangrove

Luasnya areal ekosistem mangrove di Indonesia, menyebabkan Indonesia memiliki keanekaragaman jenis tumbuhan mangrove yang sangat banyak. Jenis-jenis tumbuhan mangrove yang telah teridentifikasi, terdiri atas 202 jenis meliputi 89 jenis pohon, lima jenis palma, 19 jenis pemanjat, 44 jenis herba tanah, 44 jenis epifit, dan satu jenis paku. Dari 202 jenis tersebut, 43 jenis (diantaranya 33 jenis pohon dan beberapa jenis perdu) ditemukan sebagai mangrove sejati (*true mangrove*), sementara jenis lain ditemukan di sekitar mangrove dan dikenal sebagai jenis mangrove ikutan (*associate*) (Noor, Khazali, & Suryadiputra, 2006). Bakau (mangrove) adalah suatu komponen ekosistem yang terdiri atas komponen mayor dan minor. Mangrove yang merupakan komponen mayor disebut juga mangrove sejati, yakni mangrove yang hanya dapat hidup di lingkungan mangrove (pasang surut). Komponen minor merupakan komponen mangrove yang dapat hidup di luar lingkungan mangrove (tidak langsung kena pasang surut air laut) atau dapat disebut mangrove ikutan (Erlin, 2011).

Dari sekian banyak jenis tumbuhan mangrove di Indonesia, jenis yang banyak ditemukan antara lain adalah jenis api-api (*Avicennia* sp.), bakau (*Rhizophora* sp.), tancang (*Bruguiera* sp.), dan bogem atau pedada (*Sonneratia* sp.). Jenis-jenis mangrove tersebut merupakan tumbuhan mangrove yang menangkap, menahan endapan, dan menstabilkan tanah habitatnya (Irawanto, Ariyanti, & Hendrian, 2015).

Kebijakan Pengelolaan Mangrove

Barakalla & Megawanto (2017), menjelaskan terdapat dua payung hukum yang berhimpitan dalam pengelolaan mangrove, yaitu Undang-Undang No. 41 tahun 1999 tentang Kehutanan dan Undang-Undang No. 27 Tahun 2007 jo dan Undang-Undang No. 1 Tahun 2014 (UU 27/2007 jo UU 1/2014) tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. UU 41/1999

menyebutkan bahwa hutan adalah suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumber daya alam hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungannya, yang satu dengan lainnya tidak dapat dipisahkan (Pasal 1 ayat 2). Dengan definisi ini, maka ekosistem mangrove masuk kategori hutan. Sementara UU 27/2007 jo UU 1/2014 menyebutkan bahwa wilayah pesisir adalah daerah peralihan antara ekosistem darat dan laut yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan laut. Berdasarkan definisi ini, ekosistem mangrove termasuk dalam kategori wilayah pesisir. Dengan demikian, ekosistem mangrove adalah sumber daya yang diatur oleh dua Undang-Undang, yaitu UU 41/1999 dan UU 27/2007 jo UU 1/2014.

Dalam pelaksanaannya, terdapat dua kementerian yang bertanggungjawab dalam pengelolaan mangrove berdasarkan kedua Undang-Undang tersebut, yaitu Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) yang merujuk pada UU 41/1999 dan Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) yang berlandaskan pada UU 27/2007 jo UU 1/2014. Dalam hal ini, KLHK mengelola ekosistem mangrove yang masuk kawasan hutan, sementara KKP mengelola mangrove di luar kawasan hutan. Menurut UU 41/1999, kawasan hutan adalah wilayah tertentu yang ditunjuk dan atau ditetapkan oleh pemerintah untuk dipertahankan keberadaannya sebagai hutan tetap. Hal yang dinantikan saat ini adalah pembagian kawasan mangrove yang masuk kawasan hutan dan mangrove yang non-kawasan hutan.

Kebijakan lain untuk menghindari terjadinya dampak negatif dari kewenangan ganda adalah dengan keluarnya Peraturan Presiden No. 73 Tahun 2012 (Perpres 73/2012) tentang Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove. Terdapat dua pertimbangan penting dari keluarnya Perpres ini, yaitu:

1. ekosistem mangrove merupakan sumberdaya lahan basah wilayah pesisir dan sistem penyangga kehidupan dan kekayaan alam yang nilainya sangat tinggi, oleh karena itu perlu upaya perlindungan, pelestarian dan pemanfaatan secara lestari untuk kesejahteraan masyarakat;

2. bahwa untuk menyelenggarakan pengelolaan ekosistem mangrove berkelanjutan yang merupakan bagian integral dari pengelolaan wilayah pesisir yang terpadu dengan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai diperlukan koordinasi, integrasi, sinkronisasi dan sinergi lintas sektor, instansi, dan lembaga.

Selain itu, juga terdapat dua mandat penting dari Perpres 73/2012 kepada Tim Koordinasi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove, yaitu: (1) menyusun kebijakan, strategi, program, dan indikator kinerja pengelolaan mangrove; dan (2) membentuk Kelompok Kerja Mangrove Tingkat Nasional (KKMTN). Mandat pertama diselesaikan pada tahun 2017 melalui Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian No. 4 Tahun 2017 (Permenko 4/2017) tentang kebijakan, strategi, program, dan indikator kinerja pengelolaan mangrove. Sebagaimana tercantum dalam Perpres 73/2012, Permenko 4/2017, Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove (SNPEM) bertujuan untuk mensinergikan kebijakan dan program pengelolaan ekosistem mangrove yang meliputi bidang ekologi, sosial ekonomi, kelembagaan, dan peraturan perundang-undangan untuk menjamin fungsi dan manfaat ekosistem mangrove secara berkelanjutan bagi kesejahteraan masyarakat. Disebutkan juga bahwa SNPEM dilaksanakan secara terkoordinasi sebagai landasan dan pedoman bagi pemerintah, pemerintah daerah, pelaku usaha, dan masyarakat.

Demikian juga dengan arah kebijakan SNPEM dalam Permenko 4/2017 mengacu pada Perpres 73/2012 yang diuraikan sebagai berikut.

1. Pengendalian pemanfaatan dan konversi ekosistem mangrove dengan prinsip kelestarian (*no net lost*).
2. Peningkatan fungsi ekosistem mangrove dalam perlindungan keanekaragaman hayati, perlindungan garis pantai, dan sumber daya pesisir serta peningkatan produk yang dihasilkan sebagai sumber pendapatan bagi negara dan masyarakat.
3. Pengelolaan ekosistem mangrove sebagai bagian integral dari pengelolaan wilayah pesisir terpadu dan pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS).

4. Komitmen politik dan dukungan kuat pemerintah daerah, dan para pihak lainnya.
5. Koordinasi dan kerjasama antar instansi dan para pihak terkait secara vertikal dan horisontal untuk menjamin terlaksananya kebijakan SNPEM.
6. Pengelolaan ekosistem mangrove berbasis masyarakat dengan memperhatikan nilai ekologi, ekonomi, dan sosial budaya yang bertujuan untuk meningkatkan pendapatan masyarakat dan mendukung pembangunan yang berkelanjutan.
7. Peningkatan kapasitas pemerintah daerah dalam melaksanakan kewenangan dan kewajiban pengelolaan ekosistem mangrove sesuai dengan kondisi dan aspirasi lokal.
8. Pengembangan riset, iptek, dan sistem informasi yang diperlukan untuk memperkuat pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan.
9. Pengelolaan ekosistem mangrove melalui pola kemitraan antara pemerintah, pemerintah daerah, dunia usaha, dan masyarakat dengan dukungan lembaga dan masyarakat internasional, sebagai bagian dari upaya mewujudkan komitmen lingkungan global.

Program-program terkait pengelolaan mangrove telah dilakukan oleh berbagai pihak, baik pemerintah pusat yang bekerjasama dengan pemerintah daerah, maupun lembaga dan organisasi pemerhati lingkungan sebagai bentuk dukungan terhadap kebijakan pemerintah. Beberapa program mangrove yang dilakukan oleh pemerintah pusat diantaranya sebagai berikut.

1. Program Rehabilitasi Pantai Entaskan Masyarakat Setempat (Rantai EMAS). Program ini dikelola oleh Deputy Bidang Pengendalian Kerusakan Lingkungan dan Perubahan Iklim, KLHK tahun 2011 – 2014, pada 63 lokasi di 13 kabupaten/kota, 10 provinsi, yakni Sumatera Utara, Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, NTT, Sulawesi Tenggara, Gorontalo dan Kalimantan Barat. Program ini bertujuan merehabilitasi ekosistem mangrove bersamaan dengan pengentasan kemiskinan masyarakat pesisir. Hasil dari program ini yaitu tahun 2011 penanaman 550.000 bibit mangrove, tahun 2012 penanaman 1.130.000 bibit mangrove, dan tahun 2013 penanaman 790.000 bibit mangrove.

2. *One Map Program*. Program ini dikelola oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) yang dimulai tahun 2013 di seluruh Indonesia, setelah keluarnya Inpres No.10/2011 tentang Penundaan Pemberian Izin Baru dan Penyempurnaan Tata Kelola Hutan Alam Primer dan Lahan Gambut. Program ini bertujuan bahwa BIG bersama dengan KLHK, Kementan, serta BPN menghasilkan satu peta yang mengandung satu referensi, satu standar, satu basis data serta satu geoportal, dan melakukan pembaharuan Peta Moratorium setiap 6 bulan. Produk hasilnya berupa Buku Pemetaan Mangrove (Sumatera), Buku Pemetaan Lahan Garam, dan Buku Pemetaan Karakteristik Perairan Dangkal (Gorontalo, Sulawesi Selatan).

Pemerintah daerah juga melaksanakan program konservasi mangrove. Salah satu contohnya adalah Perdes No.01/2015 tentang Pengelolaan Kawasan Mangrove Desa Wedung, Kecamatan Wedung, Kabupaten Demak, Provinsi Jawa Tengah. Perdes ini dikeluarkan berdasarkan adanya ancaman kerusakan masif kawasan ekosistem mangrove di Desa Wedung sebagai akibat pembukaan lahan untuk tambak dan perumahan penduduk. Kerusakan paling parah terjadi pada kawasan muara sungai dan sepanjang pesisir pantai. Dengan dukungan penuh LSM LPPSP Semarang, di bawah program *Mangroves for the Future* (MFF) *Medium Grant Proejct* (MGF), Perdes dikeluarkan oleh Pemerintah Desa Wedung dengan persetujuan Pemerintah Daerah Kabupaten Demak serta Pemerintah Daerah Provinsi Jawa Tengah pada bulan Maret 2015. Berdasarkan Perdes tersebut, berbagai kegiatan rehabilitasi kawasan pesisir, perikanan budidaya Bandeng dengan metode *silvofishery*, peningkatan kapasitas ekonomi masyarakat (peningkatan usaha skala rumah tangga), serta komunikasi dan pembelajaran dilaksanakan dengan melibatkan seluruh elemen masyarakat (Barakalla & Megawanto, 2017).

Program mangrove yang dilakukan oleh lembaga nonpemerintah dan sektor swasta (program CSR) melalui kerjasama dengan pemerintah dan kelompok masyarakat antara lain adalah sebagai berikut.

1. Program *Mangroves for the Future* (MFF) - Program IUCN dan UNDP yang diinisiasi tahun 2006, sedangkan pelaksanaannya di mulai tahun

2008. Tempat atau lokasi ada 32 proyek skala kecil, menengah maupun besar di 35 desa dari 9 provinsi, yakni DKI Jakarta, Jawa Barat, Banten, Jawa Tengah, DI Jogjakarta, Jawa Timur, Sulawesi Utara, Gorontalo serta Sulawesi Selatan. Adapun tujuan program ini terkait pengelolaan kawasan pesisir, khususnya di daerah terdampak perubahan iklim dan rawan bencana (tsunami, banjir bandang, dan lain-lain), baik pihak pemerintah, LSM, kelompok masyarakat, maupun lembaga pendidikan hingga swasta. Hasilnya adalah penanaman lebih dari 1.500.000 bibit mangrove di kawasan seluas lebih dari 150 ha, pengembangan lebih dari 30 usaha skala kecil oleh kelompok masyarakat dengan mengembangkan kearifan dan sumber daya lokal, pelaksanaan beberapa ujicoba budidaya perikanan di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur.

2. *Partnership for Resilience* (PfR) - Wetlands International Indonesia (WII) pada tahun periode I: 2011-2015 dan periode II: 2016-2021 di 9 (sembilan) negara, antara lain Indonesia (NTT dan Teluk Banten), Etiopia, Guatemala, India, Kenya, dan sebagainya. Tujuan kegiatan ini yakni berkontribusi pada peningkatan resiliensi masyarakat melalui pengelolaan ekosistem yang menggabungkan kegiatan *climate change adaptation* (CCA) dengan *ecosystem management and restoration* (EMR) ke dalam *Disaster Risk Reduction* (DRR), serta penguatan kapasitas masyarakat dalam menghadapi dampak bencana. Hasilnya adalah lebih dari 30 desa yang terdapat di 9 lokasi dari 2 provinsi telah melakukan kegiatan peningkatan kapasitas masyarakat serta penanaman bibit mangrove dengan total penerima manfaat lebih dari 54.000 orang.
3. LESTARI – USAID dimulai pada tahun 2015 di 6 (enam) lokasi strategis di Aceh, Kalimantan Tengah, serta Papua. Tujuannya adalah memberi dukungan kepada pemerintah Indonesia dalam penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) serta melakukan konservasi biodiversitas dengan kandungan karbon dan ekosistem mangrove dan hutan. Menggunakan pendekatan bentang darat, hutan terintegrasi, serta konservasi lahan gambut dengan pembangunan rendah emisi pada lahan yang terdegradasi. Hasil dari program ini berupa MoU antara LESTARI dengan Pemprov Aceh, dua MoU lainnya dengan Pemprov Papua dan Kalteng

sedang disiapkan, patroli hutan di taman nasional, kerjasama dengan BRG dalam *rapid hydrological assessment* Blok C, pengembangan mata pencaharian berkelanjutan masyarakat, penandatanganan Cagar Alam Cyclop bersama para pihak terkait, pelatihan gender, serta pemberian hibah proyek pembuatan 5 video terkait kebakaran dan asap di Kalteng.

4. *Restoring Coastal Livelihood (RCL)* – OXFAM tahun 2010 – 2015 di lokasi 60 desa di pesisir barat Sulawesi Selatan. Program ini bertujuan meningkatkan resiliensi ekologi dan ekonomi masyarakat pesisir melalui restorasi hutan mangrove, pertanian tanah salinitas, mendorong pertumbuhan usaha skala kecil, serta mendorong pelibatan perempuan dalam pembangunan. Hasil dari program ini yaitu 1.000 penerima manfaat (umumnya terdiri atas perempuan) dari 60 usaha skala kecil (beberapa diantaranya berkembang lebih baik lagi), 44 pelatihan bisnis skala kecil, dan restorasi lebih dari 300 ha mangrove.

Selain itu, terdapat kegiatan yang dilakukan oleh kelompok masyarakat maupun individu dijumpai di beberapa lokasi di Indonesia terkait pengelolaan mangrove, beberapa diantaranya sebagai berikut.

1. Kelompok Tani Tambak Sido Agung di Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur, yang melakukan pembibitan dan penanaman bibit mangrove di kawasan tambak dan sungai, serta lahan pengolahan garam. Kelompok ini juga melakukan pengembangan usaha pengolahan hasil tangkap nelayan skala rumah tangga. Keunikan kelompok ini adalah adanya inisiasi Bank Garam dimana kelompok petani garam menyisihkan sebagian hasil garam mereka untuk membeli dan menanam bibit mangrove di pematang lahan penggarapan mereka.
2. Kelompok Sadar Lingkungan Paddakauang di Kabupaten Pohuwato, Gorontalo, yang melakukan pembibitan dan penanaman bibit mangrove serta pengembangan usaha kelompok nelayan pembesaran ikan karang. Kelompok ini mengembalikan kondisi ekosistem mangrove dengan berpegang pada kearifan lokal melalui proses belajar mandiri (otodidak) yang dilakukan secara berkelanjutan. Kemampuan Paddakauang tersebut kemudian menarik Universitas Negeri Gorontalo (UNG) untuk bermitra dalam berbagai kegiatan riset terkait ekosistem mangrove di Kabupaten Pohuwato. Untuk itu, UNG dan Paddakauang

telah menandatangani nota perjanjian kerjasama dan kesepahaman (MoU) dalam proses rehabilitasi dan restorasi ekosistem mangrove.

Pengelolaan Mangrove

Bentang mangrove memiliki arti penting bagi iklim global (Sigit, 2014). Dengan menyelamatkan mangrove berarti tiga miliar metrik ton karbon setidaknya tidak terlepas ke udara. Hutan mangrove sendiri memiliki kemampuan empat kali lipat dari hutan biasa sebagai penyimpan cadangan karbon dalam tanah. Dengan demikian mangrove merupakan ekosistem penting dalam mitigasi iklim global. Dengan menyelamatkan mangrove dapat menurunkan emisi karbon Indonesia ke tingkat 26% (41% jika ada komitmen bantuan Internasional) pada tahun 2020. Indonesia sendiri memiliki 3,1 juta ha mangrove atau hampir seperempat kawasan mangrove yang ada di dunia yang sangat berpotensi sebagai penyerap karbon di ekosistem pesisir. Menurut Daniel Murdiyarso, peneliti iklim dari Pusat Penelitian Hutan Internasional (CIFOR, 2014), satu hektar mangrove mampu untuk menyerap antara 600-1800 ton karbon atau jika digunakan rata-rata maka 1.200 ton karbon dapat dipertahankan dalam 1 hektar bentang hutan mangrove. Jika mangrove di Indonesia 3,1 juta ha, sekurang-kurangnya 3 miliar metrik ton karbon dapat diselamatkan untuk tidak terlepas sebagai emisi ke udara. Namun faktanya dari 3,1 juta ha mangrove di Indonesia, hanya 46%-nya yang masih baik.

Rehabilitasi mangrove memakan waktu dan biaya, dalam lima tahun terakhir Kemenhut merestorasi 31.600 ha dari target 40.000 hingga akhir tahun 2014. Kawasan mangrove yang masih baik di Indonesia berada di Papua, khususnya di kabupaten Mimika dan Asmat. Mangrove di Papua meliputi 69% kawasan mangrove yang ada di Indonesia (Sigit, 2014). Sigit (2014) lebih jauh mengemukakan bahwa mangrove juga amat rentan terhadap perubahan bentang ekofisik, sebagai contoh eks daerah tsunami di Aceh tidak semuanya dapat direhabilitasi karena substrat dasar telah berubah dari endapan lumpur berair yang cocok untuk mangrove menjadi bentang pasir yang membuat akar mangrove mudah terbawa arus samudera.

Kerusakan mangrove sendiri paling besar diakibatkan oleh tambak udang. Hal ini tidak dipungkiri oleh Coco Kokarkin Soetrisno dalam Sigit (2014), dari Dirjen Pembudidayaan KKP bahwa Kementerian Kelautan dan Perikanan tidak lagi mengalokasikan dana untuk ekstensifikasi tambak udang, namun lebih ditekankan pada intensifikasi, kecuali tambak yang sudah terlanjur dibuka. Dengan demikian 20% area tambak harus tetap dijadikan area mangrove. Brown dalam Sigit (2014) mengemukakan bahwa di Delta Mahakam Kalimantan Timur, mangrove yang dibuka untuk tambak sudah mencapai lebih dari 60.000 hektar, sekarang rusak karena adanya endapan asam sulfat yang muncul terangkat dari area tersebut yang menyebabkan kematian udang.

Mengelola mangrove berbeda dengan mengelola hutan biasa, karena tidak terdapat kearifan lokal nenek moyang yang diwariskan ke generasi sekarang. Untuk itu mengelola mangrove dan memulihkannya kembali perlu dilakukan dengan metode yang cocok. Sigit (2014) juga mengemukakan, pengelolaan mangrove walaupun secara umum masih ditemukan banyak kendala. Salah satu contoh praktik pengelolaan mangrove yang baik yaitu di daerah Tanakeke, Sulawesi Selatan yang difasilitasi oleh LSM Internasional (Gambar 1). Ratusan hektar tanaman mangrove mengelilingi Kepulauan Tanakeke, yang menjaga pulau dari hantaman ombak, khusus di musim angin kencang. Untuk penyelamatan mangrove dari penebangan liar, warga dan pemerintah desa menginisiasi Peraturan Desa tentang Pengelolaan Mangrove. Saat ini masyarakat telah mendapat manfaat dari pengelolaan mangrove lestari. Kunci dari pengelolaan mangrove oleh masyarakat sebenarnya adalah jika masyarakat mendapat insentif dari pengelolaan mangrove, dan masyarakat akan melestarikan mangrove jika mereka merasa mangrove merupakan kebutuhan. Disisi lain pengelolaan tidak akan berhasil, bila tidak ada kelembagaan yang kuat, baik di tingkat masyarakat maupun di tingkat daerah.



Sumber: Sigit (2014)

Gambar 1. Tanaman Mangrove Mengelilingi Kepulauan Tanakeke

Contoh lainnya adalah pengelolaan mangrove di daerah Lantebung, Makassar, Sulawesi Selatan. Masyarakat (khususnya nelayan) melakukan penanaman bibit mangrove sekitar 20 ribu untuk menambah mangrove yang sudah ada yaitu sekitar 80 ribu pohon yang sudah ditanam sejak 2010 lalu (Gambar 2).



Sumber: Wahyu Chandra dalam Fajar (2016)

**Gambar 2. Penanaman Mangrove di Sepanjang Pesisir Lantebung,
Makassar, Sulawesi Selatan**

Selain itu Sigit (2014) juga melaporkan tentang kondisi mangrove yang tidak dikelola dengan baik, seperti contoh berikut.

1. Di daerah Pohuwato, Gorontalo, ekosistem mangrove yang ada di cagar alam telah dikonversi menjadi tambak (Gambar 3). Kawasan ini telah berubah menjadi tambak ikan bandeng dan udang sejak tahun 1980-an.



Sumber: Chirstopel Paino dalam Sigit (2014)

Gambar 3. Kawasan Cagar Alam Tanjung Panjang di Desa Patuhu, Kecamatan Randangan, Pohuwato, Gorontalo

2. Di daerah Bengkalis Propinsi Riau, mangrove terlanjur dikonversi menjadi perkebunan kelapa dan karet oleh masyarakat, yang saat ini sedang dipulihkan kembali menjadi mangrove seperti sediakala.
3. Di daerah Mimika, Papua. Di tingkat Pemerintah Daerah masih ditemui kendala koordinasi pengelolaan mangrove dengan Pemerintah Pusat. Hal ini dikarenakan adanya rencana pendirian pabrik semen di kawasan yang masuk dalam area mangrove, yang kabarnya mendapat ijin dari Pemerintah Pusat.

Dalam pengelolaan mangrove maka rencana Tata Ruang Wilayah menjadi kata kunci untuk penyelamatan mangrove. Tanpa adanya komitmen dari Pusat dan Daerah, serta tanpa adanya model insentif yang diberikan kepada

Pemerintah Daerah, masyarakat, dan swasta pengelolaan mangrove tidak akan berjalan mulus atau lancar. Untuk itu, faktor ekonomi memegang peran penting untuk mengkonversi mangrove menjadi tetap tinggi.

Karbon Biru (*Blue Carbon*)

Selama ini, kita mengetahui bahwa hutan berfungsi sebagai penyerap dan penyimpan karbon. Degradasi dan alih fungsi lahan hutan merupakan tindakan yang dapat mengemisi karbon ke atmosfer bumi dan menyebabkan GRK di atmosfer bumi semakin padat. Karena itulah kegiatan mitigasi perubahan iklim dititikberatkan pada upaya-upaya perbaikan wilayah hutan. Akan tetapi, ada potensi emitan karbon yang tidak kalah besar dibanding wilayah hutan, yaitu ekosistem pesisir yang meliputi hutan mangrove, tumbuhan laut (*seagrass*), dan rawa-rawa yang merupakan hal penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Secara alamiah, ekosistem pesisir menyerap karbon dari atmosfer dan lautan lalu menyimpannya. Karbon yang tersimpan dalam ekosistem pesisir dikenal sebagai *Blue Carbon*.

Berdasarkan penelitian, ditemukan fakta bahwa ekosistem pesisir juga merupakan penyerap gas rumah kaca. Ekosistem tersebut diyakini menyerap dan menyimpan karbon 100 kali lebih banyak dan lebih permanen dibandingkan dengan hutan di daratan. Berbeda dengan ekosistem daratan yang cenderung tidak bertambah pada saat tertentu, ekosistem pesisir mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam sedimen secara terus-menerus dalam kurun waktu yang lama. Sekitar 50-99% karbon yang diserap oleh ekosistem pantai disimpan dalam tanah di kedalaman 6 meter di bawah permukaan tanah. Karbon yang tersimpan ini dapat tersimpan sampai ribuan tahun. Karena potensi yang besar inilah ekosistem pesisir bisa berperan banyak sebagai solusi adaptasi dan mitigasi dampak perubahan iklim (Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, 2018).

Mangrove sebagai Penyerap Karbon Biru

Indonesia mempunyai potensi karbon biru (*blue carbon*) yaitu penyerapan karbon dari ekosistem pesisir dan laut yang luar biasa besar (Fajar, 2016). Kawasan pesisir dan lautan Indonesia berpotensi menyerap karbon sekitar 138 juta ton ekuivalen per tahun atau lima kali lebih besar dibanding potensi penyerapan ekosistem hutan tropis di Indonesia. Potensi penyerapan karbon itu dapat mengurangi 25% emisi karbon global. Jumlah penyimpanan karbon yang tinggi ini menunjukkan bahwa ekosistem mangrove dan laut dapat memainkan peranan penting dalam mitigasi perubahan iklim. Sebagai negara kepulauan tropis terbesar, Indonesia menjadi kawasan segitiga terumbu karang (*coral triangle*) terluas di dunia. Sebesar 52% ekosistem terumbu karang dunia terdapat di Indonesia.

Iklim tropisnya juga membuat kawasan pesisir Indonesia menjadi tempat yang cocok untuk pertumbuhan hutan bakau (mangrove), padang lamun, dan rumput laut. Pada *Conversation International* (CI) Indonesia pada 18 Oktober 2017, menyebutkan bahwa menurut data tahun 2015, Indonesia memiliki 3,1 juta ha wilayah mangrove. Angka ini setara dengan 22% ekosistem mangrove di seluruh dunia dan 30 juta ha padang lamun yang terluas di dunia. Wilayah mangrove terluas di Indonesia ada di Provinsi Papua Barat dengan luas 482,029 ha. Pemerintah Daerah Kaimana di Papua Barat, Universitas Papua, Balai Riset dan Observasi Laut Kementerian Kelautan dan Perikanan, serta *Conversation International* pada 2015 lalu bekerja sama untuk menghitung kemampuan serapan karbon di ekosistem karbon biru yang ada di Teluk Arguni, Buruway, Etna, serta Kaimana kota di Kabupaten Kaimana. Hasilnya adalah jumlah stok karbon pada lahan mangrove seluas 34,329 ha ini setara dengan yang dihasilkan 19,7 juta unit kendaraan bermotor atau sekitar 39,3 miliar liter bensin setiap tahun. Bahkan, 76 ribu ha kawasan mangrove di Kabupaten Kaimana ternyata menyimpan 54 juta Mg Carbon dengan potensi serapan mencapai 168.128 Mg C per tahun. Data ini menegaskan bahwa ekosistem mangrove memiliki peran penting dalam mendukung komitmen pengurangan emisi. Pemerintah Kabupaten Kaimana ternyata menyambut baik usulan untuk menjadikan wilayahnya sebagai laboratorium *Blue Carbon*. Mereka pun

mendukung inisiatif pelestarian ekosistem mangrove dan mengembangkan alternatif mata pencaharian berkelanjutan bagi masyarakat yang kebanyakan berbudidaya kepiting bakau. Studi ini akan menjadi referensi dalam tata kelola pelestarian mangrove Kaimana yang tak hanya mendukung pencapaian komitmen nasional dalam pengurangan emisi, namun juga mendukung ekonomi masyarakat (Inibaru.Id, 2017).

Pada acara *Internasional Blue Carbon Symposium* (IBCS) di Manado *Convention Center* Manado Sulawesi Utara pada 15 Mei 2014, ahli kelautan dari Dewan Nasional Perubahan Iklim (DNPI) Agus Supangat mengatakan, bahwa pemerintah melalui DNPI telah mengembangkan konsep perdagangan karbon di Indonesia bernama Skema Karbon Nusantara (SKN), yang dapat digunakan untuk perdagangan blue carbon. Melalui SKN, upaya penyerapan karbon, dapat didaftarkan, diverifikasi, dan akhirnya mendapat sertifikasi untuk diperdagangkan yang nantinya mendapatkan kompensasi pendanaan. Meski *blue carbon* tidak disebutkan sebagai tujuh prioritas Rencana Aksi Nasional Penurunan Gas Rumah Kaca (RAN GRK), ada delapan aktivitas pendukung yang dimasukkan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), antara lain manajemen area konservasi, rehabilitasi area konservasi laut, dan rehabilitasi ekosistem pesisir. Lebih jauh Agus mengatakan, ekosistem pesisir dan laut masih belum menjadi perhatian utama dalam penanganan perubahan iklim di Indonesia, meski berkontribusi dalam emisi GRK. *Blue carbon* juga belum masuk dalam laporan kedua status perubahan iklim Indonesia (*Second National Communication*) kepada Konvensi Perubahan Iklim PBB (UNFCCC) (Fajar, 2016).

Dari berbagai sumber menyebutkan pasar karbon tumbuh mencapai 140 miliar USD per tahun. Sedangkan pasar karbon di Uni Eropa mencapai 107 miliar Euro pada 2011. Agus menyebutkan sudah ada proyek *blue carbon* yang masuk pasar karbon internasional, tetapi jumlahnya masih sangat kecil dibandingkan sektor lain. Sedangkan pada pasar perdagangan karbon sukarela (*voluntary*), nilai tukar satu ton karbon dapat bervariasi antara 5 – 15 USD, meski saat ini di pasar karbon Eropa nilai tukar satu ton karbon berkisar di bawah 1 USD. Apabila potensi *blue carbon* sebesar 138

juta ton setara karbon dapat diperdagangkan pada pasar karbon, misalnya masuk pada pasar karbon *voluntary* dengan kisaran harga 10 USD per ton, maka Indonesia akan mendapatkan 1,38 miliar USD per tahun. Suatu jumlah yang signifikan untuk masyarakat pesisir yang bergantung pada sumber daya lautnya (Fajar, 2016).

Studi Kajian Pengukuran Karbon Biru

Beberapa kajian atau penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan pengukuran karbon biru adalah sebagai berikut:

1. Arrohan (2016) tentang meningkatkan *blue carbon* dengan peran mangrove. Peran mangrove dalam kaitannya dengan *blue carbon* lebih ditekankan pada kemampuan mangrove memanfaatkan CO₂ untuk proses fotosintesis dan menyimpannya dalam stok biomass dan sedimen sebagai upaya mitigasi perubahan iklim. Keberadaan ekosistem mangrove memberikan manfaat bagi ekosistem perairan pesisir antara lain sebagai daerah mencari makan (*Feeding Ground*), pemijahan (*Spawning Ground*), dan pembesaran berbagai biota (*Nursery Ground*). Penelitian tentang stok karbon dan struktur komunitas mangrove sebagai *blue carbon* dilakukan di Tanjung Lesung Banten. Penetapan Teluk Miskam di Tanjung Lesung sebagai salah satu Kawasan Ekonomi Khusus untuk kawasan pertumbuhan pariwisata menjadikan daerah tersebut rentan terhadap pemanfaatan berlebih yang dapat menimbulkan kerusakan lingkungan. Penelitian untuk mengkaji struktur komunitas mangrove dan keberadaan karbon stok kondisi terkini dilakukan pada tahun 2013. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai simpanan karbon pada mangrove di Teluk Miskam adalah sebesar 49,44 – 55,33 MgC/ ha untuk jenis *Avicennia marina* dan 2,50 MgC/ ha untuk jenis *Bruguiera gymnorhiza*. Secara umum, karakteristik sedimen mangrove di Teluk Miskam berlumpur dan berbau. Kandungan karbon dalam sedimen berkisar antara 0,78 – 9,51% atau 4,43 – 27,92 MgC/ ha (Ati et al., 2014).
2. Rahman, Effendi, & Rusmana (2017), tentang estimasi stok dan serapan karbon pada mangrove di sungai Tallo, Makassar. Kota Makassar memiliki Sungai Tallo yang sepanjang bantarnya ditumbuhi oleh

vegetasi mangrove dan sangat potensial untuk dikelola sebagai ruang terbuka hijau. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa Sungai Tallo terletak tepat di tengah Kota Makassar dan sepanjang bantaran sungai didominasi oleh spesies *Nypa fruticans* dengan jumlah 18.514 pohon dan kerapatan 4.256 pohon/ha, menyimpan karbon sebesar 21,82 ton C/ha, menyerap 80,02 ton CO₂/ha. Spesies dominan kedua adalah *Rhizophora mucronata* dengan jumlah 8.492 pohon dan kerapatan 2.352 pohon/ha, menyimpan karbon sebesar 19,94 ton C/ha, menyerap 73,13 ton CO₂/ha. Spesies dominan ketiga yaitu *Avicennia alba* dengan jumlah 2.421 pohon dan kerapatan 3.228 pohon/ha, menyimpan karbon sebesar 53,96 ton C/ha, menyerap 197,87 ton CO₂/ha. Nilai kerapatan dan kemampuan serapan mangrove tersebut sangat sesuai untuk dikelola pada ruang terbuka hijau sebagai penyuplai udara segar dan penyerap CO₂.

3. Irsadi, Martuti, & Nugraha (2017), tentang stok karbon mangrove di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang. Hasil penelitian menunjukkan mangrove di Dukuh Tapak memiliki kandungan biomassa sebesar 1507,91 ton/ha, kandungan stok karbon sebesar 708,2 ton C/ha, dan mampu menyerap CO₂ sebesar 2598,65 ton/ha. Pola hubungan antara kerapatan dengan biomassa, biomassa dengan stok karbon, dan stok karbon dengan serapan CO₂ menunjukkan adanya tiga macam persamaan yang memiliki nilai korelasi (R) yang positif masing-masing sebesar 0,67; 1,00 dan 1,00.
4. Barakalla & Megawanto (2017), tentang analisis karbon (biomassa, serpihan, dan tanah) di Teluk Arguni dilakukan pada tahun 2014. Dengan menyatukan stok karbon dari biomassa pohon di atas tanah dan biomassa akar di bawah tanah, didapati stok karbon untuk seluruh daerah Teluk Arguni sebesar 689 Mg C/ha, mirip dengan angka rata-rata stok karbon Indonesia secara umum. Sebagian besar stok karbon berada di bawah tanah (82%) yang merefleksikan tanah gambut dari wilayah ini (>25% OM).

Berdasarkan uraian tersebut bahwa menentukan stok karbon bagi mangrove merupakan hal yang penting untuk memahami potensi layanan ekosistem karbon yang tersedia untuk skema pembiayaan di masa depan.

Kondisi ini sekaligus membantu Indonesia dalam mengukur dan mencapai komitmen penurunan GRK.

PENUTUP

Salah satu cara agar manusia dapat beradaptasi terhadap perubahan iklim adalah dengan cara menjaga ekosistem pantai lebih tangguh dan sehat, tidak hanya untuk saat ini tetapi untuk masa yang akan datang. Pantai yang luas yang dibatasi oleh hutan mangrove, dilindungi oleh hamparan rawa payau dan padang lamun, serta terumbu karang yang sehat, dapat bertahan lebih baik terhadap kenaikan permukaan laut, gelombang badai, dan pengasaman. Habitat pantai terbukti dapat mengembalikan areal ekosistem karbon biru yang telah hilang terutama aspek ekologi. Pemulihan tersebut dapat mengembalikan jasa-jasa penting, seperti kemampuan untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam perairan pantai, membantu memulihkan stok ikan global, serta melindungi pesisir dari badai bencana cuaca ekstrem. Saat bersamaan, habitat pantai pun dapat menghentikan penyusutan dan degradasi penyerap karbon alami sehingga berkontribusi terhadap emisi karbondioksida dan mitigasi perubahan iklim jangka panjang. Negara diseluruh penjuru dunia yang memiliki perairan dangkal yang luas, berpeluang mengeksplorasi mitigasi emisi karbondioksida melalui upaya perlindungan dan pemulihan ekosistem penyerap karbon biru yang dimilikinya.

Pemerintah memegang peranan penting dalam pengarusutamaan (*mainstreaming*) karbon biru di Indonesia, mengingat kebijakan karbon biru melibatkan beberapa lembaga pemerintah dengan permangku kepentingan yang beragam. Kebijakan yang terintegrasi dengan pengaturan kelembagaan yang terkoordinasi akan menghasilkan tata kelola karbon biru yang bernilai manfaat bagi masyarakat dan berkontribusi positif bagi lingkungan. Perencanaan tata ruang laut merupakan suatu cara untuk mendistribusikan (spasial dan temporal) aktivitas manusia di wilayah pesisir dan laut yang berguna untuk menjamin ekologi, kehidupan sosial, dan untuk tujuan ekonomi yang berkelanjutan sehingga konservasi ekosistem pesisir dapat terwujud secara nyata.

REFERENSI

- Andrianto, W. (2014). Antara merusak dan memanfaatkan hutan mangrove pada masyarakat pesisir. *Jurnal Ilmiah Kajian Ilmu Sosial dan Budaya*, 15(2), 1-12.
- Arrohman. (2016). *Meningkatkan blue carbon dengan peran mangrove*. Diakses melalui <https://www.biodiversitywarriors.org/meningkatkan-blue-carbon-dengan-peran-mangrove.html> pada 6 Agustus 2018.
- Ati, R.N.A., Rustam, A., Kepel, T.L., Sudirman, N., Astrid, M., Daulat, A., ...Hutahaeen, A.A. (2014). Stok karbon dan struktur komunitas mangrove sebagai blue carbon di Tanjung Lesung, Banten. *J. segara*, 10 (2), 119-127. Diakses melalui https://www.researchgate.net/publication/283426823_Stok_Karbon_dan_Struktur_Komunitas_Mangrove_Sebagai_Blue_Carbon_di_Tanjung_Lesung_Banten
- Barakalla & Megawanto, R. (2017). *Sains dan kebijakan karbon biru: referensi khusus untuk Kabupaten Kaimana Papua Barat*. Conservation International Indonesia.
- Bengen, D.G. (2004). Menuju pengelolaan wilayah pesisir terpadu berbasis daerah aliran sungai (DAS), dalam interaksi daratan dan lautan: pengaruhnya terhadap sumber daya dan lingkungan. *Prosiding Simposium Interaksi Daratan dan Lautan*. Diedit oleh W.B. Setyawan, dkk. Jakarta: Kedeputan Ilmu Pengetahuan Kebumian, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Budiayu, A. (2018). *Blue carbon summit 2018*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Kehutanan (CIFOR). Diakses melalui <https://www.sayasigap.org/artikel/menjaga-ekosistem-karbon-biru-di-indonesia> pada 23 Agustus 2018.

- Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim (2017). *Peran blue carbon dalam upaya mitigasi perubahan iklim*. Diakses melalui [http://ditjenpppi.menlhk.go.id/kcpi/index.php/inovasi/354-peran-blue-carbon-dalam-upaya mitigasi-perubahan-iklim](http://ditjenpppi.menlhk.go.id/kcpi/index.php/inovasi/354-peran-blue-carbon-dalam-upaya-mitigasi-perubahan-iklim) pada 28 Juli 2018.
- Erlin. (2011). *Laporan praktikum mangrove*. Diakses melalui <http://www.bioteell.blogspot.com> pada 18 Februari 2018.
- Fajar, J. (2016). *Indonesia kembali ungkapkan blue carbon untuk mitigasi dan adaptasi perubahan iklim*. Diakses melalui <http://www.mongabay.co.id/2016/11/20/indonesia-kembali-ungkapkan-blue-carbon-untuk-mitigasi-dan-adaptasi-perubahan-iklim/> pada 28 Juli 2018.
- FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations) (2007). *The world's mangroves 1980–2005*. Forest Resources Assessment Working Paper No. 153. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome.
- Farimansyah. (2005). *Strategi rehabilitasi hutan mangrove dengan sistem empang parit di Kabupaten Deli Serdang* (Tesis). Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Hoy, S. (2018). *Karbon biru: memanfaatkan peran ekosistem pesisir dalam menghadapi perubahan iklim*. Diakses melalui <https://www.conservation.org/global/indonesia/kerja/inisiatif/daques/karbon-biru.aspx> pada 28 Juli 2018.
- Indrayanti, D.M. (2015). *Pengelolaan ekosistem mangrove di Teluk Blanakan, Kabupaten Subang, Provinsi Jawa Barat* (Skripsi). Institut Pertanian Bogor (IPB), Bogor.
- Inibaru.id (2017). *Karbon biru Indonesia sangat dibutuhkan untuk menahan laju perubahan iklim*. Diakses melalui <https://www.inibaru.id/techno/karbon-biru-indonesia-sangat->

dibutuhkan-untuk-menahan-laju-perubahan-iklim pada 6 Agustus 2018.

Irawanto, R., Ariyanti, E.E, & Hendrian, R. (2015). Jeruju (*Acanthus ilicifolius*): Biji, perkecambahan dan potensinya. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiv Indonesia*, 1 (5), 1011-1018.

Irsadi, A., Martuti, N.K.T., & Nugraha, S.B. (2017). Estimasi stok karbon mangrove di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo. Kota Semarang. *Jurnal Unnes*, 15 (2). Diakses melalui <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/saintekol/article/view/12402> pada 23 Agustus 2018.

Muhtadi, A. & Sitohang, P.S. (2016). Kelembagaan pengelolaan ekowisata mangrove di pantai Bali Kabupaten Batu Bara Provinsi Sumatera Utara. *Aquatic Science Journal*, 3 (1), 26-32.

Noor, R.Y., Khazali, M., & Suryadiputra, N.N. (2006). *Panduan pengenalan mangrove di Indonesia*. Bogor: Wetland International Indonesia Programme.

Pemerintah Republik Indonesia. (2012). *Peraturan Presiden tentang Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. Perpres No. 73 Tahun 2012. Jakarta: Sekretariat Negara.

Rahman, Effendi, & Rusmana. (2017). Estimasi stok dan serapan karbon pada mangrove di Sungai Tallo, Makassar. *Jurnal ilmu kehutanan*: 11(1). Diakses melalui <https://jurnal.ugm.ac.id/jikfkt/article/view/24867> pada 26 Agustus 2018.

Sigit, R.R. (2014). *Lewat mangrove Indonesia bisa bantu selamatkan iklim dunia*. Diakses melalui <http://www.mongabay.co.id/2014/02/20/lewat-mangrove-indonesia-bisa-bantu-selamatkan-iklim-dunia/> pada 28 Juli 2018.